

### **3. ДИНАМИКА ТА МІЦНІСТЬ МАШИН, ПРОБЛЕМИ МАТЕМАТИКИ, МЕХАНІКИ ТА УПРАВЛІННЯ**

УДК 621.01

#### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИЛОВЫХ ПЕРЕДАЧ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН**

**Беломытцев А.С.**, канд. техн. наук, **Дружинин Е.И.**, канд. техн. наук,  
**Морачковский О.К.**, докт. техн. наук, проф.

*(Национальный технический университет «ХПИ», г. Харьков, Украина)*

*Представлен краткий обзор существующих в настоящее время подходов к моделированию динамических процессов в силовых передачах транспортных машин, содержащих объемные гидropередачи.*

*Ключевые слова: гидромеханические силовые передачи, динамические процессы, математическое моделирование, дискретные системы.*

*Представлено короткий огляд існуючих в даний час підходів до моделювання динамічних процесів в силових передачах транспортних машин, що містять об'ємні гідропередачі.*

*Ключові слова: гідромеханічні силові передачі, динамічні процеси, математичне моделювання, дискретні системи.*

*A brief review of the currently available approaches to the modeling of dynamic processes in the power transmission of transport vehicles containing volumetric hydrotransfers is presented.*

*Key words: hydromechanical power transfers, dynamic processes, mathematical modeling, discrete systems.*

**Постановка проблемы.** Определяющей тенденцией развития машиностроения является создание надежных и долговечных машин с постоянно возрастающей динамической и функциональной нагруженностью. Важнейшими элементами машин являются силовые передачи (СП), связывающие двигатель с рабочими органами. Исследование динамики СП требует рассматривать их модели многомассовыми, структурно сложными с наличием различных нелинейностей, в том числе, конструктивных и технологических. Кроме того, потребность в управлении динамическими процессами и улучшении характеристик современных СП побуждает включать в них объемную гидropередачу (ОГП), часто в сочетании с дифференциальными механизмами, что дополнительно усложняет технологию моделирования. В частности, возникают проблемы, связанные со степенью детализации описания движения рабочей жидкости, и с учетом ее взаимодействия с элементами механической части СП.

В работе дан краткий обзор существующих в настоящее время подходов к моделированию динамических процессов в гидромеханических силовых передачах (ГМСП), а также рассмотрен критерий выбора степени детализации в описании движения элементов ГМСП.

**Подходы к моделированию.** В задачах анализа установившихся движений элементов СП принято представлять ее механическую часть дискретной моделью, наделенной инерционными, упругими и диссипативными свойствами. Запись уравнений движения элементов СП возможна в дифференциальной или интегральной формах.

Интегральная форма представления уравнений более предпочтительна в случае, когда модель содержит небольшое количество звеньев, имеющих нелинейные упругие или диссипативные характеристики. Так, например, для анализа вынужденных нелинейных колебаний дискретной многомассовой крутильной системы произвольной структуры достаточно будет записать систему нелинейных интегральных уравнений типа Гаммерштейна относительно углов закручивания упругих нелинейных элементов и углов поворота инерционных элементов с нелинейным демпфированием, при этом, число уравнений будет равно числу нелинейностей.

Необходимо отметить, что методика, основанная на интегральной форме представления уравнений движения, будет эффективной, если имеется простой и универсальный алгоритм построения импульсно-частотных характеристик (ИЧХ), являющихся ядром интегральных уравнений. В работе [9] получен такой алгоритм для произвольных дискретных систем. Решение системы интегральных уравнений типа Гаммерштейна может быть осуществлено различными методами, например, методом Ньютона-Канторовича, осреднения функциональных поправок, методом Пикара и т.п.

Исследованию динамических процессов в системах с гидравлическим звеном посвящена обширная литература, например, [1–9]. В незначительном количестве работ жидкостное звено ОГП моделируется системой с распределенными параметрами. При этом сразу же постулируется длинный список упрощающих допущений. В работе [8] достаточно полно представлено описание нестационарных процессов в ОГП. В дополнение отметим, что при заданных внешних силах математическое описание нестационарного движения рабочей жидкости ОГП как сплошной среды должно содержать следующие уравнения: а) уравнение движения в форме закона сохранения главного вектора количества движения; б) уравнение неразрывности в форме закона сохранения массы; в) уравнение закона сохранения энергии; г) уравнение состояния жидкости в виде связи между давлением, плотностью и температурой, а также уравнений, характеризующих свойства жидкости: сжимаемость и вязкость (динамическая, кинематическая и объемная).

В этом случае система уравнений, описывающая динамические процессы в ОГП будет состоять из дифференциальных или интегрально-дифференциальных уравнений в частных производных относительно скорости и давления рабочей жидкости, при краевых условиях (уравнения расходов через насос и гидромотор, уравнения нагрузки, уравнения расходов насоса подпитки, а также предохранительных и подпиточных клапанов), представленных нелинейными дифференциальными уравнениями.

Кроме того, при формировании алгоритма поиска решения такого рода задач необходимо учитывать, что с изменением угла наклона шайбы насоса, магистрали высокого и низкого давлений ОГП могут “меняться местами”. Понятно, что решение такой совокупности систем уравнений требует использования ЭВМ. Модель ОГП с распределенными параметрами получается довольно сложной, однако, она оказывается единственно приемлемой при определении динамических свойств дистанционной ОГП, для оценки устойчивости работы системы в

целом, для определения взаимодействия ОГП с отдельными элементами механической части силовой передачи, а также для определения быстродействия и точности обработки сигналов управления в процессе ее функционирования.

Значительно больше работ посвящено исследованию динамических процессов в ГМСП, когда рабочая жидкость ОГП моделируется системой с сосредоточенными параметрами. Эти модели ОГП получены при различных упрощающих допущениях из одних и тех же уравнений. Последние включают в себя как уравнение расхода через насос, в котором учтены расходы насоса, утечек, перетечек, сжатия, а также расходы через подпиточные и предохранительные клапаны, так и уравнение расхода через гидромотор, включая расходы мотора, утечек, перетечек, сжатия. К ним присоединяют уравнения моментов на валу насоса и гидромотора и уравнение нагрузки. В основном, при выводе уравнений принимают следующие допущения: а) для рабочей жидкости плотность, вязкость и модуль объемной упругости принимаются неизменными; б) внутренние утечки в насосе и моторе не учитываются; в) характеристики предохранительных и подпиточных клапанов принимаются идеальными; г) как правило, инерционность движущейся массы жидкости в магистралях не учитывается, а забросы давления отсутствуют, при этом насос осуществляет равномерную подачу, а угловая скорость мотора не имеет переменной составляющей; д) не учитывается расход сжатия в магистралях низкого давления. Принимаются и другие упрощающие допущения. В большинстве перечисленных выше моделях, ОГП описывается как элемент системы автоматического регулирования и управления. При этом, правомерно выбирается в качестве входной величины угол наклона шайбы насоса, а в качестве выходной – либо угловая скорость, либо угол поворота гидромотора. В работах [5, 6] приводится модель ОГП, полученная на основе интегральных оценок инерционных, упругих и демпфирующих характеристик ОГП. Эту модель удобно использовать для анализа взаимного влияния ОГП и сложной дискретной механической части силовой передачи при свободных и вынужденных колебаниях. В ней учтены нелинейная зависимость модуля объемной упругости двухфазной рабочей жидкости от давления, а также неравномерность подачи. Уравнения движения ГМСП строятся на основе применения системы аналитических вычислений (САВ).

**Новые постановки задач.** В последнее время явно прогрессирует тенденция усложнения конструкций реальных ГМСП. В этой связи желательно иметь программные комплексы, позволяющие автоматизировать процесс получения уравнений движения дискретных и дискретно-континуальных моделей для таких сложных конструкций с помощью ЭВМ, например, на базе САВ, или каким-либо другим способом. Подобных разработок в настоящее время явно недостаточно. Традиционно, о погрешностях процесса моделирования принято судить только после проведения натурного эксперимента и сопоставления результатов с численным экспериментом. Практически отсутствуют работы, где хотя бы приблизительно оцениваются погрешности перехода от континуальной модели к дискретной и погрешности, порождаемые введением упрощающих допущений.

**Выводы.** В связи с изложенным выше, можно считать целесообразным такой принцип описания разных по своей физической природе процессов, про-

текающих в ГМСП, при котором уровень детализации моделирования динамических свойств ОГП определяется степенью его адекватности математической модели динамических характеристик механической части ГМСП, а также целями и условиями проводимого исследования. При реализации такого подхода желательно начинать процесс моделирования с выбора самой простой модели ОГП, с последующим переходом к более сложной, в случае, если результаты сопоставления численного и натурного экспериментов качественно или количественно не являются удовлетворительными.

**Список литературы:** 1. Автоматизированное управление гидрообъемными трансмиссиями и механизмами поворота гусеничных машин / *Е.Е. Александров* и др. – Харьков: ХГПУ, 1995. – 176 с. 2. Блекборн Дж. Гидравлические и пневматические силовые системы управления / *Блекборн Дж., Ритхоф Г., Шерер Дж.* – М.: ИЛ, 1962. – 616 с. 3. Вейц В.Л. Динамические расчеты приводов машин / *В.Л. Вейц, А.Е. Кочура, А.М. Мартыненко.* – Л.: Машиностроение, 1971. – 352 с. 4. Гамынин Н.С. Гидравлический привод систем управления / *Н.С. Гамынин.* – М.: Машиностроение, 1972. – 376 с. 5. Дружинин Е.И. Динамические модели силовых цепей машин с гидрообъемными передачами / *Е.И. Дружинин, Л.И. Штейнвольф* // Теория механизмов и машин, 1984. – Вып. 36. – С. 95–101. 6. Дружинин Е.И. Определение демпфирующих характеристик аксиально-плунжерных гидрообъемных машин / *Е.И. Дружинин, Л.И. Штейнвольф* // Теория механизмов и машин, 1984. – Вып. 37. – С. 47–53. 7. Пасынков Р.М. Расчет гидрообъемных трансмиссий с учетом динамических нагрузок / *Р.М. Пасынков, М.М. Гайцгори* // Вестник машиностроения, 1967. – №10. – С. 48–51. 8. Попов Д.Н. Нестационарные гидромеханические процессы / *Д.Н. Попов.* – М.: Машиностроение, 1982. – 240 с. 9. Андреев Ю.М. Построение ИЧХ вибрационных дискретных систем / *Ю.М. Андреев, Е.И. Дружинин, Л.И. Штейнвольф.* – ХПИ им. В.И. Ленина. – Киев, 1984. – 8 с. – Рукопись депонирована в УкрНИИНТИ, 30.05.84. – № 959 Ук-84 Деп.